

**NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT**

Patent Number: JP11307866  
Publication date: 1999-11-05  
Inventor(s): KURAMOTO MASARU  
Applicant(s):: NEC CORP  
Requested Patent: ☐ JP11307866  
Application Number: JP19980115268 19980424  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01S3/18  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To lessen an internal loss by using a barrier layer shown by specified formula, having a band gap larger than GaN at the entire or part of the barrier layer and a well layer having a smaller band gap than GaN.  
**SOLUTION:** On a sapphire C-plane substrate 1 are grown a buffer layer 2, n-type contact layer 3, n-type clad layer 4, n-type light confining layer 5, undoped multiple quantum well active layer 6 (7 wells) composed of an In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N well layer and Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N barrier layer, p-type light confining a layer 7, a p-type layer 8, and a p-type contact layer 9. The barrier layer uses Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N to widen the gap. This greatly reduces absorption by the barrier layer in the oscillation wavelength of 423 nm and the internal loss to 25 cm<sup>-1</sup> and the internal loss can be also reduced to 29 cm<sup>-1</sup>, compared with the conventional semiconductor element.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

RECEIVED  
JUN 30 2003  
TO 2800 MAIL ROOM

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-307866

(43)公開日 平成11年(1999)11月5日

(51)IntCl.<sup>6</sup>

H01S 3/18

識別記号

F I

H01S 3/18

審査請求 有 請求項の数7 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平10-115268

(22)出願日 平成10年(1998)4月24日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 倉本 大

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

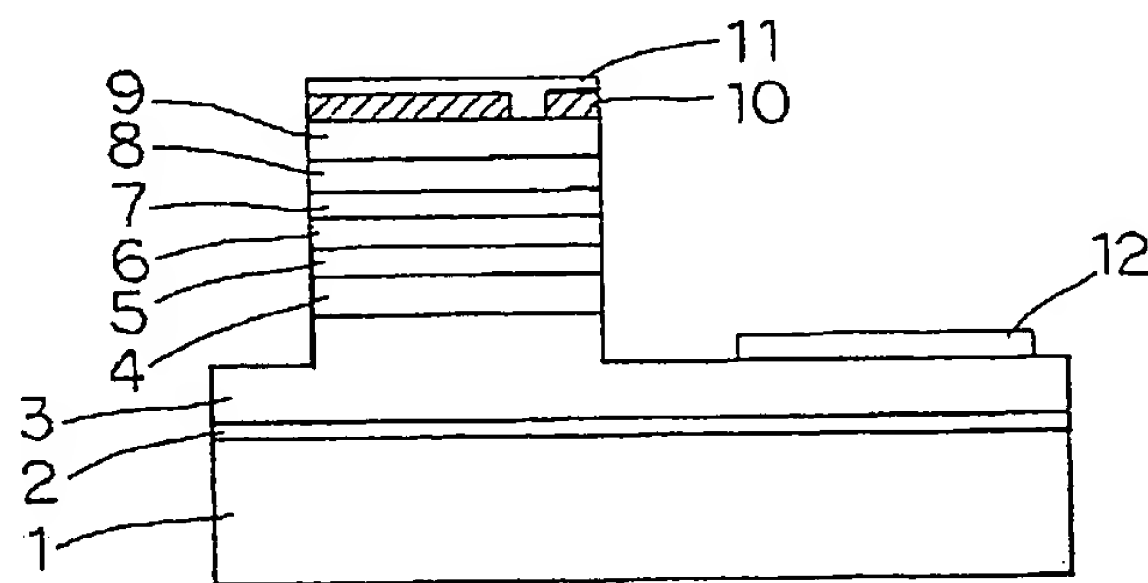
(74)代理人 弁理士 若林 忠 (外4名)

(54)【発明の名称】 窒化物系化合物半導体レーザ素子

(57)【要約】

【課題】 内部損失の小さい窒化物系化合物半導体レーザ素子を提供し、高性能なレーザ素子を実現する。

【解決手段】 基板上に形成された導電型半導体クラッド層と、半導体光閉じ込め層と、一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、半導体光閉じ込め層と、導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  系の半導体レーザ素子において、井戸層のバンドギャップを  $\text{GaN}$  より小さくし、バリア層の全て或いは一部に  $\text{GaN}$  より大きいバンドギャップを有する  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  を用いる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成された一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、井戸層のバンドギャップが  $\text{GaN}$  より小さく、バリア層の全て或いは一部に  $\text{GaN}$  より大きいバンドギャップを有する  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  を用いることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 基板上に形成された一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、井戸層のバンドギャップが  $\text{GaN}$  より小さく、光閉じ込め層の全て或いは一部に  $\text{GaN}$  より大きいバンドギャップを有する  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  を用いることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】 基板上に形成された一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、前記バリア層のバンドギャップが、井戸層より大きく且つ光閉じ込め層およびクラッド層に比べ小さく、且つその層厚を  $5\text{nm}$  以下とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項4】 基板上に形成された一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導

電型半導体クラッド層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、上記光閉じ込め層のバンドギャップが、井戸層およびバリア層より大きく且つクラッド層より小さく、且つ上記光閉じ込め層の層厚を  $0.05\mu\text{m}$  以下とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】 2種類の  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  結晶からなる超格子によって活性層内のバリア層を形成することを特徴とする請求項1記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】 2種類の  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  結晶からなる超格子によって光閉じ込め層を形成することを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】 光閉じ込め層のバンドギャップを、バリア層とクラッド層のバンドギャップ範囲内で井戸層から離れるに従って、空間的に徐々にワイドギャップ化することを特徴とする請求項2記載の半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒化物系化合物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ,  $x \geq 0$ ,  $y \geq 0$ ,  $x+y \leq 1$ ) レーザ素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子の構造断面図を図14に示す。サファイアC面基板101上に  $\text{GaN}$  低温バッファ層102 (厚さ  $30\text{nm}$ )、 $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{GaN}$  (厚さ  $3\mu\text{m}$ ) からなる  $n$  型コンタクト層103、 $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなるクラッド防止層 (厚さ  $0.1\mu\text{m}$ ) と  $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  層 (厚さ  $0.4\mu\text{m}$ ) からなる  $n$  型クラッド層104、 $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{GaN}$  層 (厚さ  $0.1\mu\text{m}$ ) からなる  $n$  型光閉じ込め層105、 $\text{In}$  ドープの  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  井戸層 (厚さ  $2.5\text{nm}$ ) と  $\text{In}$  ドープの  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  バリア層 (厚さ  $5\text{nm}$ ) からなる7周期の多重量子井戸活性層106、 $\text{Mg}$  ドープ  $p$  型  $\text{GaN}$  (厚さ  $0.1\mu\text{m}$ ) からなる  $p$  型光閉じ込め層107、 $\text{Mg}$  ドープ  $p$  型  $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  (厚さ  $0.4\mu\text{m}$ ) からなる  $p$  型クラッド層108、 $\text{Mg}$  ドープ  $p$  型  $\text{GaN}$  (厚さ  $0.2\mu\text{m}$ ) からなる  $p$  型コンタクト層109、絶縁層110、 $\text{Ni}$  (第一層) 及び  $\text{Au}$  (第二層) からなる  $p$  電極111、 $\text{Ti}$  (第一層) 及び  $\text{Al}$  (第二層) からなる  $n$  電極112で形成されているレーザ構造であり、この構造により、室温パルス発振 (閾値電流密度  $J_{\text{th}}=4.6\text{KA}/\text{cm}^2$ ) が得られており、内部損失は  $54\text{cm}$

1であった(アプライド・フィジックス・レターズ(APPLIED PHYSICS LETTERS)、第69巻、1568頁、1996年)。

【0003】一般に、内部損失の低減化は井戸数を減らすことで可能である。本発明者らは、比較例として、図14と同様な層構成を有する次のような窒化物系化合物半導体レーザを試作した。サファイアC面基板101上にGa<sub>0.95</sub>N低温バッファ層102(厚さ30nm)、Siドープn型Ga<sub>0.95</sub>N(厚さ2μm)からなるn型コンタクト層103、Siドープn型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N(厚さ0.4μm)からなるn型クラッド層104、Siドープn型Ga<sub>0.95</sub>N(厚さ0.1μm)からなるn型光閉じ込め層105、アンドープのIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N井戸層(厚さ3nm)とアンドープのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層(厚さ6nm)からなる4周期の多重量子井戸活性層106、Mgドープp型Ga<sub>0.95</sub>N(厚さ0.1μm)からなるp型光閉じ込め層107、Mgドープp型Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N(厚さ0.4μm)からなるp型クラッド層108、Mgドープp型Ga<sub>0.95</sub>N(厚さ0.2μm)からなるp型コンタクト層109、Ni(第一層)及びAu(第二層)からなるp電極111、絶縁層110、Ti(第一層)及びAl(第二層)からなるn電極112で形成されているレーザ構造であり、その内部損失を測定したところ45cm<sup>-1</sup>であり、井戸数が7の時に比べて多少は内部損失は低減するが、依然として大きい値を有していた。

【0004】これら従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、バリア層にはIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0.02≤X≤0.05、厚さ5~6nm)が用いられ、光閉じ込め層にはGa<sub>0.95</sub>N(厚さ0.1μm)が用いられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、従来のAlGaAs系やAlGaInP系レーザダイオード等に比べて大きな内部損失を有している。従来の半導体レーザダイオードの内部損失は、井戸層の自由電子吸収や価電子帯間吸収が主原因となっているため、内部損失の値がそれほど大きくない。また、多重量子井戸の井戸数を減らすことによって(井戸層での光閉じ込めを減らすことによって)、内部損失を減らすことが可能であり、量子井戸構造での内部損失は5cm<sup>-1</sup>以下にできる。

【0006】これに対し、窒化物系化合物半導体レーザ素子においては、上述したように、量子井戸数を減らしても内部損失はあまり改善されない。

【0007】本発明者らは、この原因が、窒化物系化合物半導体In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)の吸収特性にあることを見出した。図15に、Ga<sub>0.95</sub>N結晶、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N結晶、Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N結晶における吸収スペクトルを示す。図15におけるGa<sub>0.95</sub>N結晶の吸収スペクトルに注目すると、Ga<sub>0.95</sub>Nのバンドギャップ(換算波長で約362nm)より低

エネルギー側でも吸収が存在していることがわかる。例えば、レーザダイオードの発光波長を420nmとすると、Ga<sub>0.95</sub>N結晶では約40cm<sup>-1</sup>の吸収があり、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N結晶、Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N結晶では、それぞれ70cm<sup>-1</sup>、14cm<sup>-1</sup>の吸収が存在する。これらの吸収スペクトルとレーザダイオードの構造から求めた各層の光の閉じ込め率により、これまでのレーザダイオードにおける内部損失を説明できることが分かった。これらのことから、本発明者らは、窒化物系化合物半導体の低エネルギー側に吸収があること、そしてこの低エネルギー側の吸収は各層に存在しているが、特に、発光波長に近いバンドギャップを有する活性層内のバリア層における吸収と、光閉じ込めの割合が大きい光閉じ込め層における吸収が大きく、これらが内部損失を大きくしている原因となっていることを見出した。

【0008】内部損失が大きいと、レーザダイオードの特性として、微分量子効率(発振しきい値以上での出力光子数の増加分/注入電子数の増加分)が下がったり、しきい値電流密度が上がったりするなどの弊害がある。これらのことは、高出力レーザの実現を妨げる要因となり得る。

【0009】そこで本発明の目的は、多重量子井戸活性層のバリア層や、光閉じ込め層の材料、構造、膜厚を変えることにより、内部損失の小さい窒化物系化合物半導体レーザ素子を提供し、高性能なレーザ素子を実現することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】第1の発明は、基板上に形成された一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる導電型半導体クラッド層と、一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる半導体光閉じ込め層と、一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる半導体光閉じ込め層と、一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、井戸層のバンドギャップがGa<sub>0.95</sub>Nより小さく、バリア層の全て或いは一部にGa<sub>0.95</sub>Nより大きいバンドギャップを有するIn<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>Nを用いることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0011】第2の発明は、基板上に形成された一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる導電型半導体クラッド層と、一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる半導体光閉じ込め層と、一般式In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(X≥0、Y≥0、X+Y≤1)からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体

層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、井戸層のバンドギャップが  $\text{Ga}\text{N}$  より小さく、光閉じ込め層の全て或いは一部に  $\text{Ga}\text{N}$  より大きいバンドギャップを有する  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  を用いることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0012】第3の発明は、基板上に形成された一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、前記バリア層のバンドギャップが、井戸層より大きく且つ光閉じ込め層およびクラッド層に比べ小さく、且つその層厚を  $5\text{nm}$  以下とすることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。第4の発明は、基板上に形成された一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる一層または複数層の井戸層およびバリア層の2種類の半導体層より形成される活性層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる半導体光閉じ込め層と、一般式  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $X \geq 0$ ,  $Y \geq 0$ ,  $X+Y \leq 1$ ) からなる導電型半導体クラッド層とが前記順序で形成された半導体レーザ素子であって、上記光閉じ込め層のバンドギャップが、井戸層およびバリア層より大きく且つクラッド層より小さく、且つ上記光閉じ込め層の層厚を  $0.05\mu\text{m}$  以下とすることを特徴とする半導体レーザ素子に関する。

【0013】上記第1の発明においては、2種類の  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  結晶からなる超格子によって活性層内のバリア層を形成することができる。

【0014】上記第2の発明においては、2種類の  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  結晶からなる超格子によって光閉じ込め層を形成することができる。

【0015】また、上記第2の発明においては、光閉じ込め層のバンドギャップを、バリア層とクラッド層のバンドギャップ範囲内で井戸層から離れるに従って、空間的に徐々にワイドギャップ化することができる。

【0016】一般に半導体レーザのしきい値電流密度は、レーザの発振条件から、利得と損失が釣り合ったときの電流密度で定義される。損失は、内部損失とミラー損失の和であり、このうちミラー損失は、高反射コーティングをすることにより小さくすることが可能である。したがって、本発明により内部損失を減少させれば、低い閾値電流密度の窒化物半導体レーザ素子が得られる。下記の実施例に示すように、本発明の半導体レーザ素子は、光閉じ込めが従来構造に比べて若干減少する。したがって、発振モードに対する利得は減少する傾向を示すが、しきい値電流密度の大きさは、内部損失と光閉じ込め係数の比で決まり、トレードオフの関係となる。下記の実施例に示すように、本発明によれば、内部損失と光閉じ込めの比は、従来より改善されるのでしきい値電流密度も改善される。

【0017】レーザダイオードの微分量子効率<sub>外</sub>は、ミラー損失/(内部損失+ミラー損失)に比例する。したがって、内部損失が少なくなれば、微分量子効率は大きくなる。例えば、実施例1の半導体レーザ素子で共振器長が  $800\mu\text{m}$ 、反射率が80%の高反射コートの場合、微分量子効率は従来の構造に比べ、2倍となる。このように、内部損失の低減化は、しきい値電流密度の減少と同時に、効率を上げることが可能であり、高出力レーザを開発する上で重要な技術と言える。

【0018】窒化物系化合物半導体レーザの大きい内部損失の原因は、窒化物系化合物半導体のバンドギャップより低エネルギー側に存在する吸収であり、この低エネルギー側の吸収がレーザ素子各層で存在しているが、特に、発光波長に近いバンドギャップを有する活性層内のバリア層での吸収と光閉じ込めの割合が大きい光閉じ込め層での吸収が大きく、これらが内部損失を大きくしている原因となっている。したがって、バリア層や光閉じ込め層のワイドギャップ化や薄膜化は、吸収量を減らし、内部損失を低減化することになる。

【0019】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、実施例に基づき図面を参照して詳細に説明する。(実施例1)図1及び図2を用いて第1の発明の実施例を説明する。図1は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図2は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0020】サファイアC面基板1上に  $\text{Ga}\text{N}$  バッファ層2(厚さ  $30\text{nm}$ )、 $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{Ga}\text{N}$  (シリコン濃度  $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ  $2\mu\text{m}$ ) からなる  $n$  型コンタクト層3、 $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  (シリコン濃度  $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4\mu\text{m}$ ) からなる  $n$  型クラッド層4、 $\text{Si}$  ドープ  $n$  型  $\text{Ga}\text{N}$  (シリコン濃度  $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1\mu\text{m}$ ) からなる  $n$  型光閉じ込め層5、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  井戸層(厚さ  $2.5\text{nm}$ ) と  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  バリア層(厚さ  $5\text{nm}$ ) からなる  $n$  型アンダー



多重量子井戸活性層 6 (井戸数 7 個)、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ) からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0021】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti/Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni/Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0022】実施例 1 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成においてバリア層として Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N を用い、ワイドギャップ化を行った。これにより、図 15 に示したように発振波長の 423 nm では、バリア層での吸収が大幅に減少し、内部損失は  $25 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて  $29 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0023】(実施例 2) 図 1 及び図 3 を用いて第 1 の発明の第 2 の実施例を示す。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 3 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0024】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ層 2 (厚さ 30 nm)、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ) からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ) からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層 (厚さ 2.5 nm) と Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N バリア層 (厚さ 5 nm) からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6 (井戸数 4 個)、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ) からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングを

することが好ましい。

【0025】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti/Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni/Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0026】実施例 2 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、同一の量子井戸数の前記比較例の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成においてバリア層として Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N を用い、ワイドギャップ化を行った。これにより、図 15 に示したように発振波長の 423 nm では、バリア層での吸収が大幅に減少し、内部損失は  $24 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記比較例の半導体レーザ素子に比べ、 $21 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0027】(実施例 3) 図 1 及び図 4 を用いて第 2 の発明の実施例を説明する。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 4 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0028】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ層 2 (厚さ 30 nm)、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ) からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ) からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層 (厚さ 2.5 nm) と In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.85</sub>N バリア層 (厚さ 5 nm) からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6 (井戸数 7 個)、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ) からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0029】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti/Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni/Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0030】実施例 3 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成において光閉じ込め層として Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N を用い、ワイドギャップ化を行った。

これにより、図 15 に示したように発振波長の 423 nm では、光閉じ込め層での吸収が大幅に減少し、内部損失は  $21 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて  $33 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0031】（実施例 4）図 1 及び図 5 を用いて第 2 の発明の第 2 の実施例を説明する。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 5 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0032】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ一層 2（厚さ 30nm）、Si ドープ n 型 GaN（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ）からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ）からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ）からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層（厚さ 2.5nm）と In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N バリア層（厚さ 5nm）からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6（井戸数 4 個）、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ）からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ）からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ）からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0033】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti / Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni / Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0034】実施例 4 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記比較例の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成において光閉じ込め層として Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N を用い、ワイドギャップ化を行った。これにより、図 15 に示したように発振波長の 423 nm では、光閉じ込め層での吸収が大幅に減少し、内部損失は  $20 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記比較例の半導体レーザ素子に比べて  $25 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0035】（実施例 5）図 1 及び図 6 を用いて第 3 の発明の実施例を説明する。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 6 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0036】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ一層 2（厚さ 30nm）、Si ドープ n 型 GaN（シリコン

濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ）からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ）からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 GaN（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ）からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層（厚さ 2.5nm）と In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N バリア層（厚さ 3nm）からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6（井戸数 7 個）、Mg ドープ p 型 GaN（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ）からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ）からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ）からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0037】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti / Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni / Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0038】実施例 5 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成においてバリア層厚を 3 nm とし、薄膜化を行った。これにより、バリア層での吸収が減少し、内部損失は  $24 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて  $30 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0039】第 3 の発明において、バリア層の厚さは 5 nm 以下であることが必要であり、好ましくは 1 nm ~ 5 nm、より好ましくは 3 nm ~ 5 nm である。

【0040】（実施例 6）図 1 及び図 7 を用いて第 3 の発明の第 2 の実施例を示す。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 7 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0041】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ一層 2（厚さ 30nm）、Si ドープ n 型 GaN（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ）からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ）からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 GaN（シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ）からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層（厚さ 2.5nm）と In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N バリア層（厚さ 3 nm）からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6（井戸数 4 個）、Mg ドープ p 型 GaN（Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.1 \mu\text{m}$ ）か

らなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0042】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti/Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni/Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0043】実施例 6 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記比較例の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成においてバリア層厚を 3 nm とし、薄膜化を行った。これにより、バリア層での吸収が減少し、内部損失は  $28 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記比較例の半導体レーザ素子に比べて  $17 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0044】(実施例 7) 図 1 及び図 8 を用いて第 4 の発明の実施例を説明する。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 8 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0045】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ層 2 (厚さ 30 nm)、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ) からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.03 \mu\text{m}$ ) からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層 (厚さ 2.5 nm) と In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N バリア層 (厚さ 5 nm) からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6 (井戸数 7 個)、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.03 \mu\text{m}$ ) からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0046】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti/Al からなる

n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni/Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0047】実施例 7 の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成において光閉じ込め層の厚さを  $0.03 \mu\text{m}$  とし、薄膜化を行った。これにより、光閉じ込め層での吸収が減少し、内部損失は  $19 \text{ cm}^{-1}$  となった。前記文献記載の半導体レーザ素子に比べて  $35 \text{ cm}^{-1}$  もの内部損失が減少した。

【0048】第 4 の発明において、光閉じ込め層の厚さは  $0.05 \mu\text{m}$  以下であることが必要であり、好ましくは  $0.01 \sim 0.05 \mu\text{m}$  であるが、多重量子井戸活性層の井戸数にも依存するため、井戸数が 1 ~ 4 個の場合は  $0.025 \sim 0.05 \mu\text{m}$  がより好ましく、井戸数が 5 ~ 10 個の場合は  $0.01 \sim 0.05 \mu\text{m}$  がより好ましく、井戸数が 10 個を超える場合は  $0.01 \sim 0.03 \mu\text{m}$  がより好ましい。

【0049】(実施例 8) 図 1 及び図 9 を用いて第 4 の発明の第 2 の実施例を説明する。図 1 は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図 9 は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0050】サファイア C 面基板 1 上に GaN バッファ層 2 (厚さ 30 nm)、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $2 \mu\text{m}$ ) からなる n 型コンタクト層 3、Si ドープ n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる n 型クラッド層 4、Si ドープ n 型 GaN (シリコン濃度  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.03 \mu\text{m}$ ) からなる n 型光閉じ込め層 5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N 井戸層 (厚さ 2.5 nm) と In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N バリア層 (厚さ 5 nm) からなるアンドープ多重量子井戸活性層 6 (井戸数 4 個)、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.03 \mu\text{m}$ ) からなる p 型光閉じ込め層 7、Mg ドープ p 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.4 \mu\text{m}$ ) からなる p 型クラッド層 8、Mg ドープ p 型 GaN (Mg 濃度  $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) からなる p 型コンタクト層 9 を順次成長させて、LD 構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN 基板、SiC 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0051】次に、ドライエッチングにより n 電極 12 を形成すべき n 型コンタクト層 3 を部分的に露出させた後、露出した n 型コンタクト層上に Ti/Al からなる n 電極 12 を形成する。一方、絶縁層 10 を形成後、その絶縁層 10 上に、p 型コンタクト層 9 とコンタクトさせて Ni/Au からなる p 電極 11 を形成する。

【0052】実施例 8 の窒化物系化合物半導体レーザ素



子は、前記比較例の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成において光閉じ込め層の厚さを $0.03\mu\text{m}$ として、薄膜化を行った。これにより、光閉じ込め層での吸収が減少し、内部損失は $15\text{cm}^{-1}$ となった。前記比較例の半導体レーザ素子に比べて $30\text{cm}^{-1}$ もの内部損失が減少した。

【0053】（実施例9）図1及び図10を用いて第1の発明の第3の実施例を説明する。図1は本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図10は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0054】サファイアC面基板1上にGaNバッファ一層2（厚さ30nm）、Siドープn型GaN（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $2\mu\text{m}$ ）からなるn型コンタクト層3、Siドープn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4\mu\text{m}$ ）からなるn型クラッド層4、Siドープn型GaN（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1\mu\text{m}$ ）からなるn型光閉じ込め層5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N井戸層（厚さ2.5nm）と図10のエネルギーバンドを示すようなGaN/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N超格子バリア層（厚さ5nm、層厚比1:1）からなるアンドープ多重量子井戸活性層6（井戸数7個）、Mgドープp型GaN（Mg濃度 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1\mu\text{m}$ ）からなるp型光閉じ込め層7、Mgドープp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（Mg濃度 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4\mu\text{m}$ ）からなるp型クラッド層8、Mgドープp型GaN（Mg濃度 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.2\mu\text{m}$ ）からなるp型コンタクト層9を順次成長させて、LD構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN基板、SiC基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0055】次に、ドライエッチングによりn電極12を形成すべきn型コンタクト層3を部分的に露出させた後、露出したn型コンタクト層上にTi/Alからなるn電極12を形成する。一方、絶縁層10を形成後、その絶縁層10上に、p型コンタクト層9とコンタクトさせてNi/Auからなるp電極11を形成する。

【0056】実施例9の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成においてバリア層としてGaN/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N超格子を用い、ワイドギャップ化を行った。これにより、図15に示したように発振波長の423nmでは、バリア層での吸収が大幅に減少し、内部損失は $25\text{cm}^{-1}$ となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて $29\text{cm}^{-1}$ もの内部損失が減少した。

【0057】（実施例10）図1及び図11を用いて第2の発明の第3の実施例を示す。図1は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図11は、この半導

体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0058】サファイアC面基板1上にGaNバッファ一層2（厚さ30nm）、Siドープn型GaN（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $2\mu\text{m}$ ）からなるn型コンタクト層3、Siドープn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4\mu\text{m}$ ）からなるn型クラッド層4、図11のエネルギーバンドを示すようなSiドープn型GaNとSiドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nとの超格子（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1\mu\text{m}$ 、膜厚比1:1）からなるn型光閉じ込め層5、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N井戸層（厚さ2.5nm）とIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nバリア層（厚さ5nm）からなるアンドープ多重量子井戸活性層6（井戸数7個）、図11のエネルギーバンドを示すようなMgドープp型GaNとMgドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nとの超格子（Mg濃度 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1\mu\text{m}$ 、膜厚比1:1）からなるp型光閉じ込め層7、Mgドープp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（Mg濃度 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4\mu\text{m}$ ）からなるp型クラッド層8、Mgドープp型GaN（Mg濃度 $2\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.2\mu\text{m}$ ）からなるp型コンタクト層9を順次成長させて、LD構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、GaN基板、SiC基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0059】次に、ドライエッチングによりn電極12を形成すべきn型コンタクト層3を部分的に露出させた後、露出したn型コンタクト層上にTi/Alからなるn電極12を形成する。一方、絶縁層10を形成後、その絶縁層10上に、p型コンタクト層9とコンタクトさせてNi/Auからなるp電極11を形成する。

【0060】実施例10の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成において光閉じ込め層としてGaN/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N超格子を用い、ワイドギャップ化を行った。これにより、図15に示したように発振波長の423nmでは、光閉じ込め層での吸収が大幅に減少し、内部損失は $21\text{cm}^{-1}$ となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて $33\text{cm}^{-1}$ もの内部損失が減少した。

【0061】（実施例11）図1及び図12を用いて第1の発明の第4の実施例を説明する。図1は本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図12は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0062】サファイアC面基板1上にGaNバッファ一層2（厚さ30nm）、Siドープn型GaN（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $2\mu\text{m}$ ）からなるn型コンタクト層3、Siドープn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N（シリコン濃度 $4\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4\mu\text{m}$ ）からなるn型クラッド層4、Siドープn型GaN（シリコン濃度 $4$

$\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ ) からなるn型光閉じ込め層5、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 井戸層(厚さ $2.5 \text{ nm}$ )と $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ バリア層(厚さ $5 \text{ nm}$ )からなるアンドープ多重量子井戸活性層6(井戸数7個)、Mgドープp型Ga $\text{N}$ (Mg濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ )からなるp型光閉じ込め層7、Mgドープp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (Mg濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4 \mu\text{m}$ )からなるp型クラッド層8、Mgドープp型Ga $\text{N}$ (Mg濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.2 \mu\text{m}$ )からなるp型コンタクト層9を順次成長させて、LD構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、Ga $\text{N}$ 基板、Si $\text{C}$ 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0063】次に、ドライエッチングによりn電極12を形成すべきn型コンタクト層3を部分的に露出させた後、露出したn型コンタクト層上にTi/Alからなるn電極12を形成する。一方、絶縁層10を形成後、その絶縁層10上に、p型コンタクト層9とコンタクトさせてNi/Alからなるp電極11を形成する。

【0064】実施例11の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成においてバリア層として $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ を用い、ワイドギャップ化を行った。これにより、図15に示したように発振波長の $423 \text{ nm}$ では、光閉じ込め層での吸収が大幅に減少し、内部損失は $29 \text{ cm}^{-1}$ となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて $25 \text{ cm}^{-1}$ もの内部損失が減少した。

【0065】(実施例12) 図1及び図13を用いて第2の発明の第4の実施例を説明する。図1は、本発明の半導体レーザ素子の構造断面図であり、図13は、この半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【0066】サファイアC面基板1上にGa $\text{N}$ バッファ層2(厚さ $30 \text{ nm}$ )、Siドープn型Ga $\text{N}$ (シリコン濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $2 \mu\text{m}$ )からなるn型コンタクト層3、Siドープn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (シリコン濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4 \mu\text{m}$ )からなるn型クラッド層4、Siドープn型 $\text{Al}_u\text{Ga}_{1-u}\text{N}$ (但し、 $0 \leq u \leq 0.1$ であって、図13に示すようにクラッド層側に向かって徐々にワイドギャップ化している。シリコン濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ )からなるn型光閉じ込め層5、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 井戸層(厚さ $2.5 \text{ nm}$ )と $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ バリア層(厚さ $5 \text{ nm}$ )からなるアンドープ多重量子井戸活性層6(井戸数7個)、Mgドープp型 $\text{Al}_u\text{Ga}_{1-u}\text{N}$ (但し、 $0 \leq u \leq 0.1$ であって、図13に示すようにクラッド層側に向かって徐々にワイドギャップ化している。Mg濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ )からなるp型光閉じ込め層7、M

gドープp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ (Mg濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.4 \mu\text{m}$ )からなるp型クラッド層8、Mgドープp型Ga $\text{N}$ (Mg濃度 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $0.2 \mu\text{m}$ )からなるp型コンタクト層9を順次成長させて、LD構造を形成する。なお、本実施例では、基板は、サファイア基板を用いたが、Ga $\text{N}$ 基板、Si $\text{C}$ 基板などの他の基板を用いてもよい。また、本発明においては光閉じ込め層のドーピングは必須ではないが、本実施例においてはドーピングをすることが好ましい。

【0067】次に、ドライエッチングによりn電極12を形成すべきn型コンタクト層3を部分的に露出させた後、露出したn型コンタクト層上にTi/Alからなるn電極12を形成する。一方、絶縁層10を形成後、その絶縁層10上に、p型コンタクト層9とコンタクトさせてNi/Alからなるp電極11を形成する。

【0068】実施例12の窒化物系化合物半導体レーザ素子は、前記文献記載の従来の窒化物系化合物半導体レーザ素子に比べ、上記構成において光閉じ込め層としてGa $\text{N}$ から $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ の材料を徐々に空間的に変化させ、ワイドギャップ化を行った。これにより、図15に示したように発振波長の $423 \text{ nm}$ では、光閉じ込め層での吸収が大幅に減少し、内部損失は $21 \text{ cm}^{-1}$ となった。前記文献記載の従来の半導体レーザ素子に比べて $33 \text{ cm}^{-1}$ もの内部損失が減少した。

【0069】

【発明の効果】本発明によれば、多重量子井戸活性層のバリア層や光閉じ込め層の材料や、構造、膜厚を変えることにより、内部損失の小さい窒化物系化合物半導体レーザ素子を提供することでき、高性能なレーザ素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体レーザ素子の構造断面図である。

【図2】実施例1の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図3】実施例2の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図4】実施例3の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図5】実施例4の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図6】実施例5の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図7】実施例6の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図8】実施例7の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図9】実施例8の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図10】実施例9の半導体レーザ素子のバンド構造を

示す図である。

【図 11】 実施例 10 の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図 12】 実施例 11 の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

【図 13】 実施例 12 の半導体レーザ素子のバンド構造を示す図である。

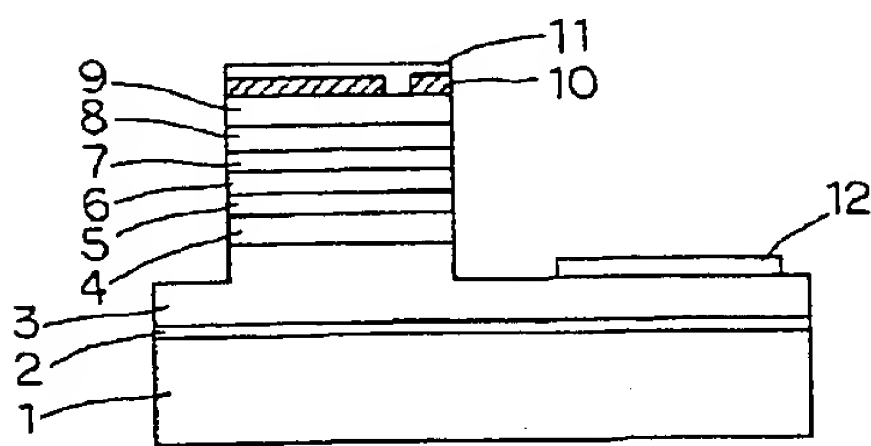
【図 14】 従来の半導体レーザ素子の構造断面図である。

【図 15】 窒化物系化合物半導体の吸収スペクトルを示す図である

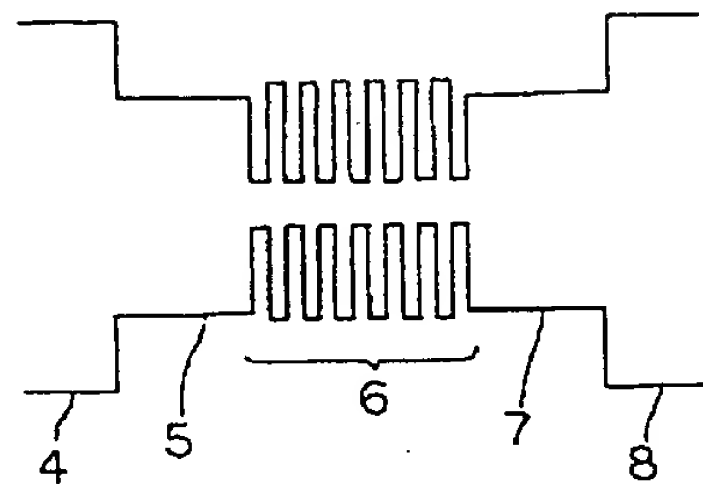
【符号の説明】

- |        |                |
|--------|----------------|
| 1、101  | サファイアC面基板      |
| 2、102  | バッファ層          |
| 3、103  | n型コンタクト層       |
| 4、104  | n型クラッド層        |
| 5、105  | n型光閉じ込め層       |
| 6、106  | アンドープ多重量子井戸活性層 |
| 7、107  | p型光閉じ込め層       |
| 8、108  | p型クラッド層        |
| 9、109  | p型コンタクト層       |
| 10、110 | 絶縁層            |
| 11、111 | p電極            |
| 12、112 | n電極            |

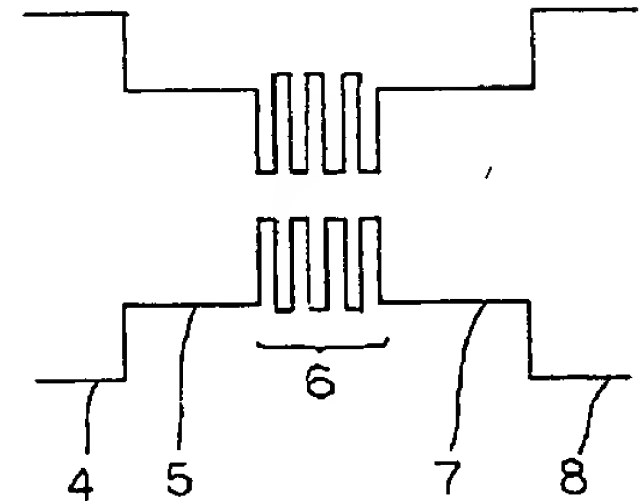
【図 1】



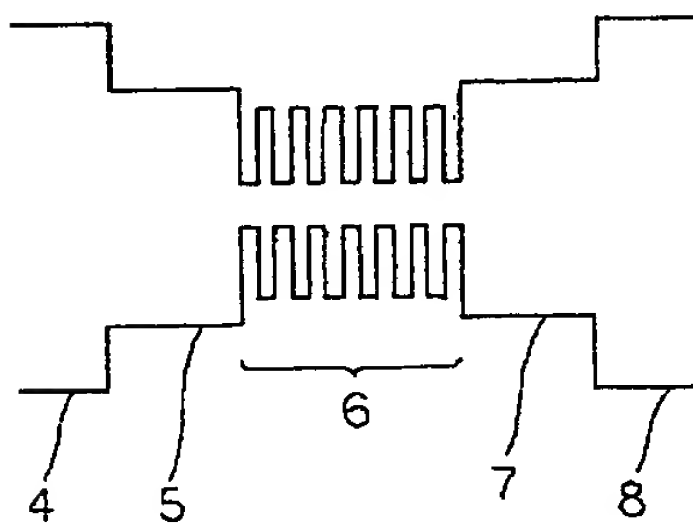
【図 2】



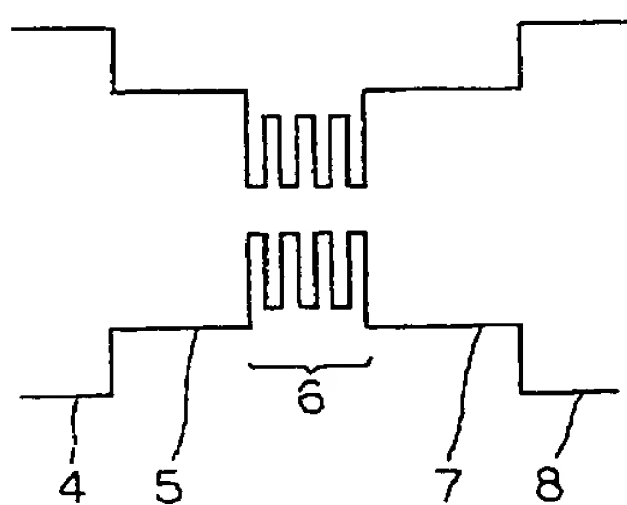
【図 3】



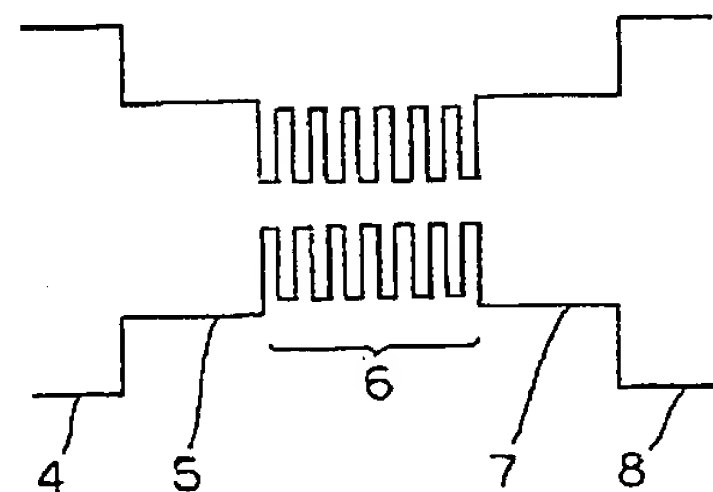
【図 4】



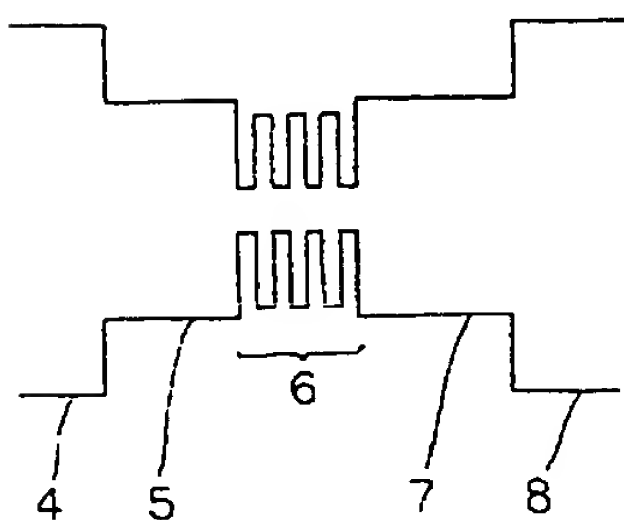
【図 5】



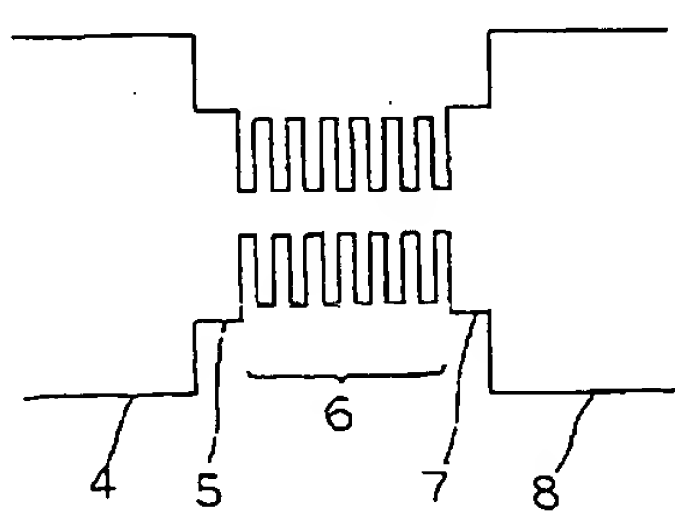
【図 6】



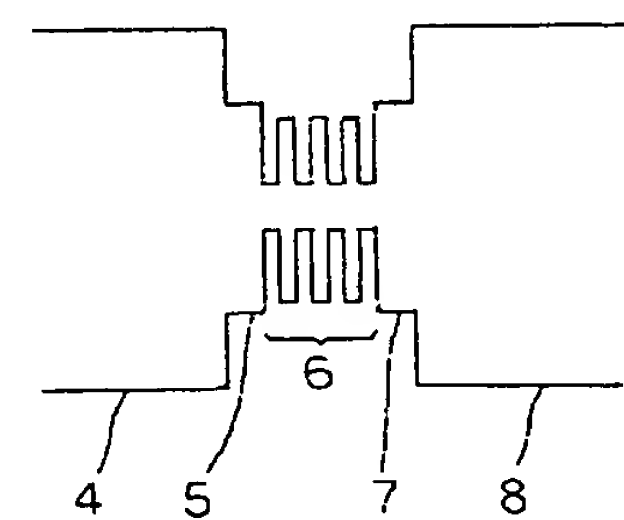
【図 7】



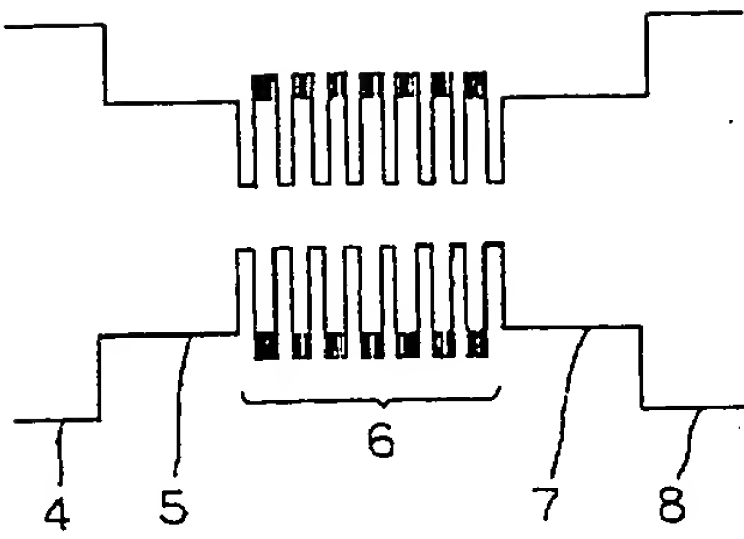
【図 8】



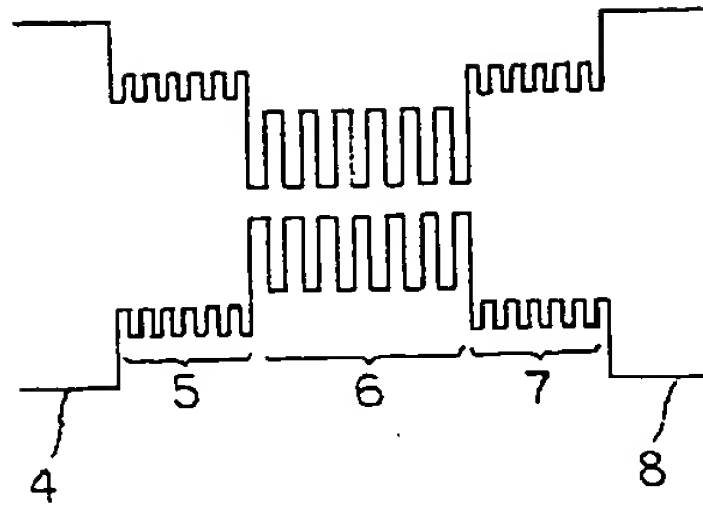
【図 9】



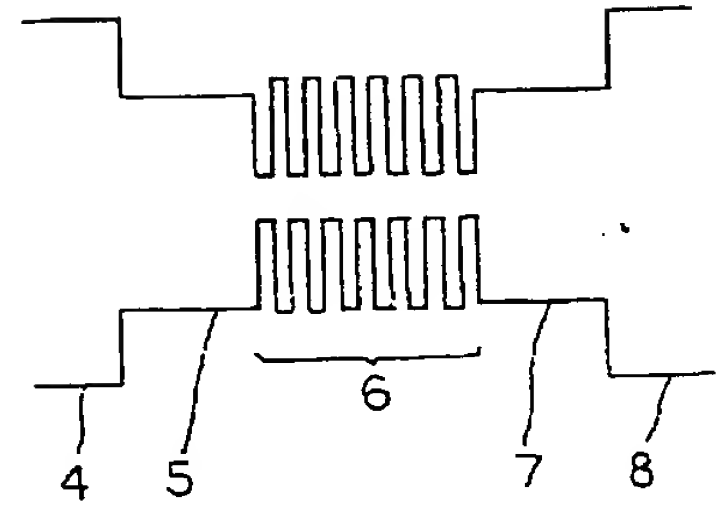
【図 10】



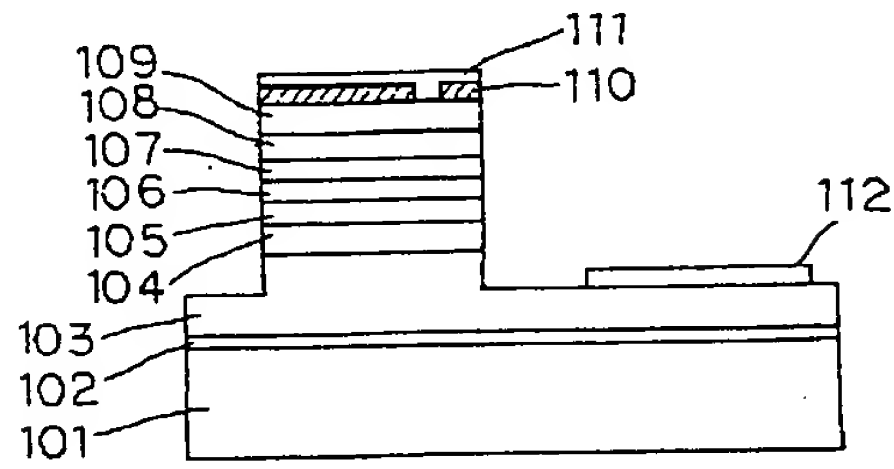
【図 11】



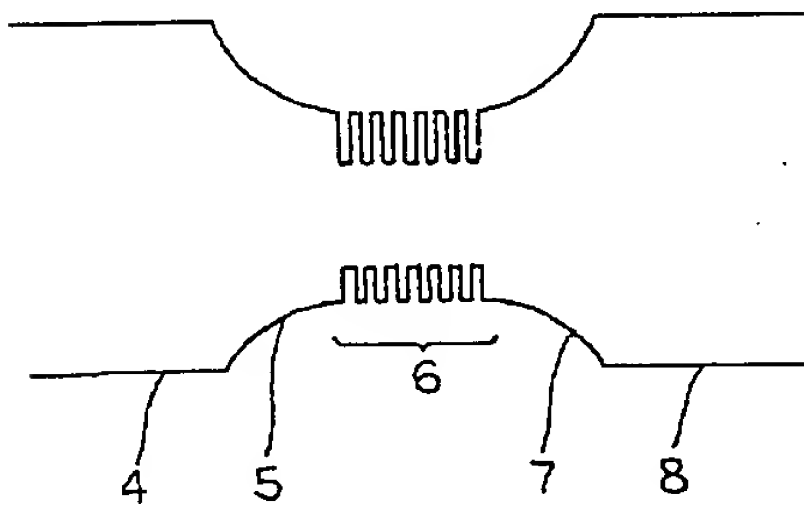
【図 12】



【図 14】



【図 13】



【図 15】

